

Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Akibat Pengaruh Penggunaan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Primer 20 KV

Syamsyarief Baqaruzi¹, Ali Muhtar²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera

syamsyarief.baqaruzi@el.itera.ac.id¹, ali.muhtar@el.itera.ac.id²

Abstrak—*Distributed Generation (DG)* adalah sistem pembangkitan energi listrik pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah, berdaya kecil yang dibangkitkan dekat dengan pusat-pusat beban, dengan pengaruh dari pemasangan DG harus dapat meningkatkan kualitas penyaluran tenaga listrik. Penelitian ini telah dilakukan analisis perbandingan interkoneksi penggunaan atau tanpa penggunaan DG, guna menghasilkan kualitas daya energi listrik pada saluran. Serta mendapatkan besar nilai rugi energi yang dinyatakan dalam bentuk rupiah. Tahapan analisis yang dilakukan ialah memasukan data saluran, data pembebanan, dan pembuatan *single line diagram*, sehingga didapat perhitungan analisis. Hasil penelitian menunjukkan interkoneksi DG dengan studi kasus PLTMH Aek Silang, dan PLTMH Aek Sibundong menghasilkan nilai jatuh tegangan sebesar 365,5 V tanpa menggunakan DG, sebesar 5,3 V dan 268,07 V menggunakan DG. Nilai rugi-rugi aktif didapat sebesar 17,52 kW, 11.620,18 kW, dan 17.032 kW, sedangkan nilai rugi-rugi reaktif sebesar 2,36 kVAR, 1.579,65 kVAR, dan 2.338,73 kVAR. Untuk besar rugi rupiah didapatkan nilai sebesar Rp 19.860, Rp 100.863, dan Rp 120.723. Simpulan dari hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan DG pada penyulang dapat memperbaiki kualitas daya dari penyaluran tenaga listrik.

Kata kunci: *Distributed Generation, Jatuh Tegangan, Rugi-rugi, PLTMH, Kualitas Daya*

Abstract—*Distributed Generation (DG)* is a small power generation in a medium voltage distribution system, that is generated close to the central loads, therefore the effect of DG installation near the load center must be able to improve the power quality of electricity distribution. This research aims to obtain a comparative analysis of interconnection use or without the use of DG in order to produce the power quality of feeders in distribution system, and knowed the value of energy losses expressed in rupiah terms. The research stages are collected the feeders data, loads data, and create a single line diagram, after that analysis calculation can be obtained. The results showed a case studies the interconnection of DG with PLTMH Aek Silang and PLTMH Aek Sibundong has produced voltage drop is 365,5 V without using DG, amounting to 5,3 V and 268,07 V using DG. The value of active losses were 17,52 kW, 11.620,18 kW, and 17.032 kW, while the reactive losses were 2,36 kVAR, 1.579,65 kVAR and 2.338,73 kVAR. For a large amount of rupiah loss, the value is

Rp 19.860, Rp 100.863 and Rp 120.723. Conclusions from the results of the analysis show that the use of DG on feeders can improve the power quality from the distribution system.

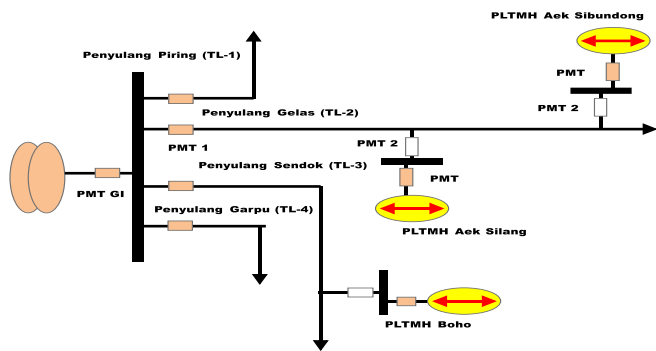
Keywords: *Distributed Generation, Voltage Drop, Losses, PLTMH, Power Quality*

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini, negara-negara dibelahan Eropa dan Amerika telah banyak mengembangkan konsep *Distributed Generation (DG)* dalam mendukung kebutuhan energi listriknya. DG merupakan sistem pembangkitan energi listrik berdaya kecil yang dibangkitkan dekat dengan pusat-pusat beban. *International Council on Large Electric Systems (CIGRE)* mendefinisikan DG sebagai semua unit pembangkit dengan kapasitas maksimal berkisar sampai 50 MW dan dipasangkan ke jaringan distribusi. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* mendefinisikan DG sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. Sedangkan *International Energy Agency (IEA)* mendefinisikan DG sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal[1]. Sumber energi listrik pada DG adalah dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (*renewable*) seperti energi air, angin, surya, biomassa, dan lainnya, serta energi tidak terbarukan seperti PLTD dan lainnya. Dimana faktor yang mempengaruhi DG juga bergantung dari karakteristik jaringan distribusi, jenis atau tipe DG, paralel DG dengan sistem yang menyebabkan pengoperasian, kapasitas, dan permeabilitas dapat berubah arus rating dan mempengaruhi harmonisa, sehingga menyebabkan beberapa masalah jika pengaruh dari kualitas daya tidak diperhatikan, akan merugikan pihak penyedia maupun konsumen[2][3]

Pembangkit konvensional memiliki kelemahan yaitu biaya pembangkitan yang besar, serta kurang atau bahkan tidak ramah lingkungan, karena masih menggunakan sumber energi

tidak dapat diperbaharui atau fosil. Pembangkit yang umumnya menyediakan kapasitas daya yang besar, serta jauh dari pusat beban[4]. Sehingga, dibutuhkan saluran yang panjang untuk menyalurkan listrik ke beban. Hal tersebut menyebabkan rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi mencapai 10-13%[5] dari daya yang dibangkitkan. Selanjutnya, dilakukan pemasangan (interkoneksi) DG. Yang ditempatkan dekat dengan daerah beban, , guna memanfaatkan seluruh jaringan distribusi secara efektif, diperlukan untuk mengintegrasikan baik konfigurasi ulang jaringan dan lokasi penempatan dari DG tersebut[6]. Dimana pada penelitian ini objek analisa diambil pada sistem distribusi radial 20 KV penyulang (*feeder*) Gelas, yaitu dengan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH) Aek Silang kapasitas 1 x 750 kW dan Aek Sibundong kapasitas 1 x 750 kW.



Gambar 1. Diagram Satu Garis PLTMH Aek Silang dan Aek Sibundong

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dimana penyulang diberikan interkoneksi DG untuk menyuplai beban dengan syarat sinkronisasi sesuai syarat-syarat pada sistem distribusi 20 KV. Dari hasil pengambilan data analisis, didapatkan data saluran dan data beban pada gardu induk Tele, yang menyalurkan tenaga listriknya ke beban menggunakan Saluran Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV dengan konfigurasi tipe radial pada penyulang Gelas. Kemudian dilakukan analisis aliran daya, dimana pada penelitian sebelumnya yang sejenis terkait interkoneksi DG pada umumnya melakukan perbandingan pada satu jenis DG saja[7][8], sedangkan pada penelitian ini diambil dua DG untuk dilakukan pengamatan serta perbandingan, sehingga didapatkan perubahan terjadinya kehilangan daya dan energi akibat pengaruh penggunaan DG pada penyulang dari Gardu Induk Tele. Termasuk analisis ekonomi teknik dari besar kerugian yang dinyatakan dalam bentuk rupiah.

II. PERANCANGAN SISTEM

Pada perancangan sistem diperlukan suatu diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 2, dimana terdapat langkah-langkah dalam mencapai hasil tujuan dari penelitian untuk menganalisis rugi-rugi dan jatuh tegangan pada saluran. Pertama adalah melakukan masukan dari data saluran dan data pembebanan, kedua memasukkan data parameter analisis serta pembuatan *single line diagram*, ketiga melakukan perhitungan

analisis dimana terdapat perbandingan jatuh tegangan, rugi-rugi yang mempengaruhi dari kualitas daya termasuk besar rupiah dari perbandingan kualitas daya tersebut. Sehingga, tahapan keempat ialah mendapatkan kesimpulan dan saran. Pada penjelasan subbab pendahuluan diatas, lokasi penelitian diambil dengan studi kasus jaringan distribusi 20 KV pada penyulang Gelas di gardu induk Tele (TL-2) menggunakan jenis penghantar kabel distribusi All Aluminium Alloy Conductor (AAAC) dengan total panjang saluran adalah 275,58 Km dengan total kapasitas sebesar 10 MVA. Kualitas daya listrik tersebut sangat mempengaruhi peralatan beban yang lebih sensitif, dengan peningkatan efisiensi daya sistem secara keseluruhan, diperlukan perbaikan faktor daya yang berdampak mengurangi rugi-rugi, sehingga para konsumen dapat meningkatkan produktivitas dalam menjaga suatu keandalan sistem distribusi listrik.

Adapun tujuan dari penelitian ini, agar mendapatkan nilai analisis perbandingan penggunaan DG dengan hasil dari kualitas daya energi listrik saluran, yaitu pengaruh dari pemakaian atau tanpa DG pada suatu penyulang pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah 20 KV[9]. Serta juga, untuk mengetahui berapa besar nilai rugi energi sepanjang saluran yang dinyatakan dalam bentuk rupiah.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali mengalami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Daya total (VA) yang dikirimkan dalam jaringan distribusi terdiri dari daya aktif (W) dan daya reaktif (VAR)[10]. Adapun persamaan daya listrik pada sistem tiga fasa didapatkan dari persamaan berikut :

$$P = V.I. \cos \phi \quad (1)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (2)$$

$$S = P + jQ \quad (3)$$

$$S = V \cdot I \cdot \cos \phi + V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (4)$$

Dimana

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos ϕ = Faktor daya

Sin ϕ = Faktor reaktif

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

Selanjutnya, dikarenakan suatu arus yang mengalir pada suatu penghantar, akan terjadi rugi-rugi energi menjadi perubahan panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi dan reaktansi[6][11]. Sedangkan, penurunan ataupun kenaikan tegangan sangat berpengaruh pada peralatan-peralatan listrik yang dipakai. Oleh karenanya jika diketahui nilai dari besar tegangan, fasa, ukuran penghantar dan faktor daya beban juga panjang saluran maka kita dapat menghitung besar jatuh tegangan dan rugi-rugi dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l \quad (5)$$

$$l = R \cos \phi + jX \sin \phi \quad (6)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I_{\text{fasa}} \times R^2 \text{ total} \quad (7)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I_{\text{fasa}} \times X^2 \text{ total} \quad (8)$$

Dimana

ΔV = Jatuh tegangan (W)

I = Arus (A)

l = Panjang penyulang (Km)

ΔP = rugi-rugi daya (W/VAR)

R = Resistansi (Ω /Km)

X = Reaktansi (Ω /Km)

Jika jatuh tegangan dan rugi-rugi telah diperoleh, besar kerugian saluran distribusi dapat dihitung menjadi rugi energi (rugi kWh). Biasanya dinyatakan dalam bentuk rupiah. Karena dalam penelitian ini membahas pengaruh dari DG, maka kerugian yang diamati adalah rugi-rugi energi dari sisi teknis yang menjadikan tarif dasar listrik (TDL) sebagai acuan biaya kerugian[10], dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = P \times t = V \times I \times t \quad (9)$$

$$CoEL = \frac{W}{1000} \times TDL \quad (10)$$

Dimana

W = Energi listrik perjam (Wh)

P = Daya listrik (A)

t = lama pemakaian (h)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

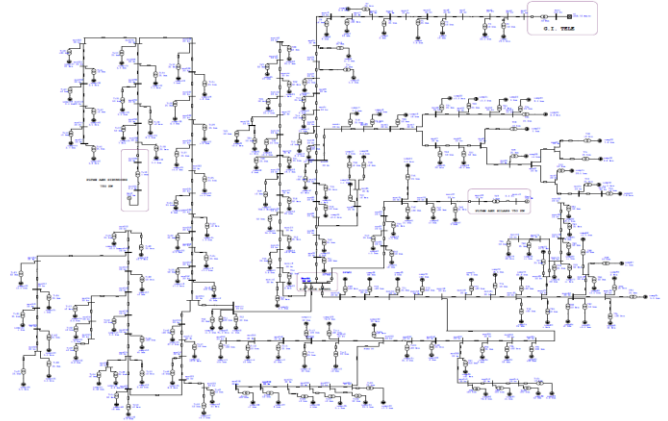
CoEL = Biaya kerugian listrik (Rp)

$\frac{W}{1000}$ = Pemakaian listrik (kWh)

TDL = Tarif dasar listrik (Rp/kWh)

Tahapan selanjutnya adalah data dari gambar 1 diatas dilakukan perancangan sistem kelistrikan diagram satu garis menggunakan bantuan ETAP *Powerstation* dengan asumsi beban seimbang dalam sistem distribusi 3 fasa, yang

ditunjukkan oleh gambar 2 single line diagram sistem distribusi GI Tele, yaitu harus mempertimbangkan koneksi jaringan yang berurutan mulai dari Gardu Induk, saluran, busbar, dan pembebanan untuk menghindari kegagalan dari sistem yang akan dilakukan analisis aliran daya[5]. Sedangkan data saluran yang terdapat pada tabel 1 digunakan untuk mendapatkan besar impedansi yang terdiri dari nilai resistansi pada suatu penghantar (R,X) sepanjang penghantar saluran (Km/ Ω).



Gambar 3. Single Line Diagram Sistem Distribusi Gardu Induk Tele (TL-2)

Tabel 1. Data Saluran Transmisi Jaringan Distribusi PLTMH Aek Silang dan Aek Sibundong

No	Bus	Ke Bus	Z1=Z2 (pu)		Panjang (km)
			R	X	
1	Bus 95	Bus 94	0,21	0,08	0,33
2	Bus 97	Bus 95	0,21	0,08	0,33
3	Bus 99	Bus 97	0,21	0,08	0,33
4	Bus 101	Bus 99	0,21	0,08	0,33
5	Bus 102	Bus 101	0,68	0,25	1,06
6	Bus 101	Bus 105	0,21	0,08	0,33
7	Bus 105	Bus 107	0,21	0,08	0,33
8	Bus 256	Bus 254	1,61	0,54	6
9	Bus 257	Bus 256	0,81	0,27	3
10	Bus 258	Bus 257	0,81	0,27	3
11	Bus 259	Bus 258	1,08	0,36	4
12	Bus 260	Bus 259	1,08	0,36	4
13	Bus 261	Bus 266	0,51	0,17	1,9
14	Bus 262	Bus 261	0,51	0,17	1,9
15	Bus 264	Bus 262	1,02	0,34	3,8
16	Bus 266	Bus 264	0,81	0,27	3
17	Bus 267	Bus 266	0,30	0,10	1,1
18	Bus 268	Bus 267	0,30	0,10	1,1
19	Bus 269	Bus 268	0,30	0,10	1,1
20	Bus 269	Bus 270	0,30	0,10	1,1
21	Bus 270	Bus 288	0,30	0,10	1,1

22	Bus 288	Bus 290	0,30	0,10	1,1
23	Bus 290	Bus 291	2,40	0,95	2,6
24	Bus 290	Bus 293	0,30	0,10	1,1
25	Bus 293	Bus 296	0,30	0,10	1,1
26	Bus 296	Bus 300	0,30	0,10	1,1
27	Bus 302	Bus 270	1,35	0,50	2,1
28	Bus 302	Bus 304	2,03	0,81	2,2
29	Bus 304	Bus 306	2,03	0,81	2,2
30	Bus 306	Bus 310	2,12	0,84	2,3
31	Bus 310	Bus 311	2,67	1,06	2,9
32	Bus 311	Bus 313	2,67	1,06	2,9

Tabel 2. Data Pembebanan PLTMH Aek Silang dan Aek Sibudong

No	Nama Beban	Rating (kVA)	Beban (%)	
			LWBP	WBP
1	Lump 41	10	16	20
2	Lump 42	1,5	2	6
3	Lump 43	1,5	2	6
4	Lump 44	3,5	8	14
5	Lump 45	21	13	21
6	Lump 46	13	10	13
7	Lump 47	2	2	8
8	Lump 116	35	31	35
9	Lump 118	17,5	57	35
10	Lump 119	17,25	27	69
11	Lump 120	0,5	2	2
12	Lump 121	1,92	7	12
13	Lump 122	8	15	32
14	Lump 123	11,5	26	46
15	Lump 125	14,75	36	59
16	Lump 127	1,5	6	6
17	Lump 128	6,25	17	25
18	Lump 129	1,75	11	7
19	Lump 130	3	12	12
20	Lump 131	5,75	10	23
21	Lump 132	7,25	12	29
22	Lump 133	3,5	3	7
23	Lump 134	8,48	23	53
24	Lump 135	7	6	14
25	Lump 136	3,25	9	13
26	Lump 137	23	14	23
27	Lump 138	2,4	5	15
28	Lump 139	2,4	5	15
29	Lump 140	5,28	15	33
30	Lump 141	2,7	4	18
31	Lump 142	5,75	10	23

Data pembebanan (*lump load*) pada penelitian didapatkan pada 2 (dua) waktu pembebanan, yaitu waktu beban puncak (WBP), dan lewat waktu beban puncak (LWBP) yang ditunjukkan pada tabel 2 diatas, dimana *rating* KVA didapatkan dari besar transformator masing-masing saluran yang melayani beban. Adapun pada pendekatan hasil analisis dalam bentuk rupiah/kWh, harus diketahui tarif dasar listrik yang berlaku, data yang diambil adalah data terbaru tentang penetapan tarif dasar listrik (*tarif adjustment*), yang dikeluarkan oleh PT. PLN melalui statistik pln.co.id seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIF ADJUSTMENT)
BULAN JANUARI - MARET 2020**

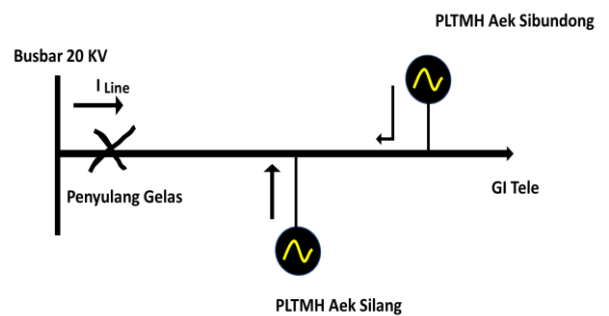
NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER	
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVAh (Rp/kVAh)
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.487,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.487,28
4.	R-2/TR	≤ 5.500 VA	*)	1.487,28
5.	R-3/TR	ke atas	*)	1.487,28
6.	B-2/TR	6.500 VA ≤ d. 200 kVA	*)	1.487,28
7.	B-3/TM	d. atas 200 kVA	**) Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh	1.114,74
8.	I-3/TM	d. atas 200 kVA	**) Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh	1.114,74
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	**) Blok WBP dan Blok LWBP = 995,74 kVAh	995,74
10.	P-1/TR	6.500 VA ≤ d. 200 kVA	*)	1.487,28
11.	P-2/TM	d. atas 200 kVA	**) Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh	1.114,74
12.	P-3/TR	ke atas	*)	1.487,28
13.	LTR, TM, TT			1.644,52

Catatan:
*) Diterapkan Rekening Minimum (RM)
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
**) Diterapkan Rekening Minimum (RM)
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
***) Diterapkan Rekening Minimum (RM)
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVAh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (ditetapkan penuh lima per seratus).
K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem tenaga listrik setempat (1,4 ≤ K ≤ 2), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.
WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

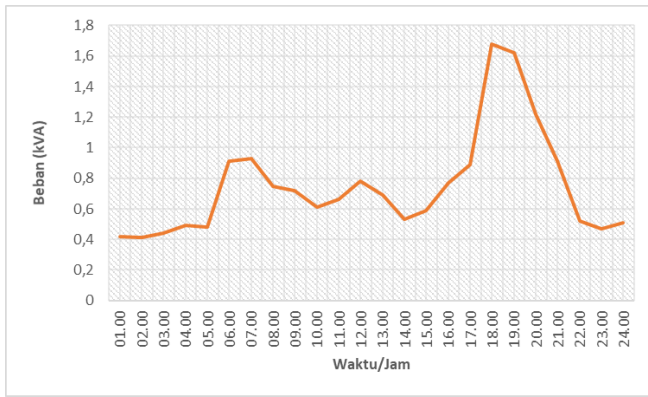
Gambar 4. Tarif Dasar Listrik PT. PLN (Persero)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Pembebanan GI Tele (TL-2)



Gambar 5. Interkoneksi Pembebanan GI Tele



Gambar 6. Profil Beban Harian GI Tele

Pada gambar 6 diatas, profil beban yang diambil adalah berdasarkan asumsi, dan sebagai dasar acuan titik poin (*break even point*) pemakaian konsumsi harian pola masyarakat di Indonesia. Kondisi profil beban terbagi dua yaitu, waktu beban puncak (WBP) dan lewat waktu beban puncak (LWBP). Dimana kondisi yang diwajarkan menganggap semua kondisi beban memiliki pola profil beban yang sama, sehingga dianggap seluruh konsumen mengkonsumsi beban pada titik puncak pada pukul 18.00-21.00.

Tabel 3. Data Pembebanan GI Tele

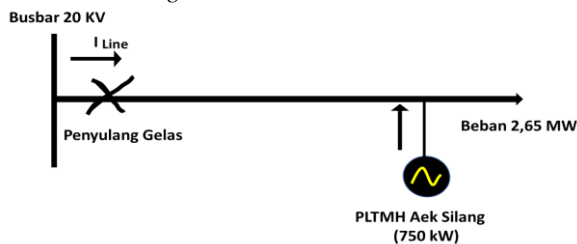
No	Nama Beban	Rating Trafo (kVA)	Beban (A)		Cos ϕ	Sin ϕ
			LWBP	WBP		
1	Lump 1 s.d 166	16, 25, 50, 100, 160, 200	54,05	90,02	0,85	0,53

Berdasarkan data teknis pembebanan total Gardu Induk Tele pada tabel 3 di atas, kita akan menghitung beban yang dipikul oleh penyulang Gelas. Dalam hal ini, penulis mengambil data arus pembebanan terbesar yaitu pada kondisi WBP sebesar 90,02 Ampere. Oleh karenanya, daya penyulang gelas adalah:

$$\begin{aligned}
 P \text{ (kW)} &= \sqrt{3} \times I_N \times V_{LL} \times \text{Cos } \phi \\
 &= 1,73 \times 90,02 \times 20 \times 0,85 \\
 &= 2647,48 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Sehingga beban pada penyulang Gelas sebesar 2,65 MW.

B. Penyulang Gelas Disuplai GI Tele dan Interkoneksi PLTMH Aek Silang



Gambar 7. Interkoneksi PLTMH Aek Silang

Pada interkoneksi PLTMH Aek Silang dilakukan perhitungan impedansi total disepanjang saluran penyulang Gelas dengan total Panjang penyulang 3,04 km dengan jenis penghantar AAAC 50 mm² dan Z₁=Z₂ sebesar 0,6452+j0,3678, sehingga diperoleh hasil analisis:

$$\begin{aligned}
 R_{Total} &= R \times l \\
 &= 0,6452 \times 3,04 \\
 &= 1,96 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{Total} &= Z \times l \\
 &= 0,3678 \times 3,04 \\
 &= 0,72 \Omega
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh jatuh tegangan pada sirkit akhir penyulang Gelas:

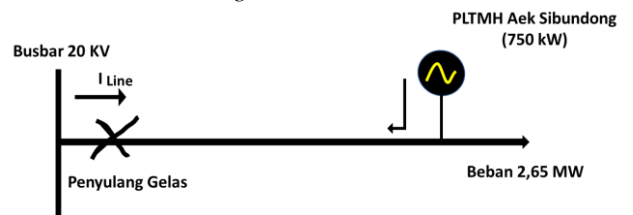
$$\begin{aligned}
 \Delta V &= \sqrt{3} \times I \times (R \text{ Cos } \phi + jX \text{ Sin } \phi) \\
 &= 1,73 \times 1,52 \times ((1,96 \times 0,85) + (0,72 \times 0,53)) \\
 &= 5,384 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan rugi-rugi disepanjang saluran dengan menganalisis besar dari rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{aktif} &= 3 \times I_{fasa}^2 \times R^2 \\
 &= 3 \times 1,52^2 \times (1,96)^2 \\
 &= 17,52 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{reaktif} &= 3 \times I_{fasa}^2 \times X^2 \\
 &= 3 \times 1,52^2 \times (0,72)^2 \\
 &= 2,36 \text{ kVAR}
 \end{aligned}$$

C. Penyulang Gelas Disuplai GI Tele dan Interkoneksi PLTMH Aek Sibundong



Gambar 8. Interkoneksi PLTMH Aek Sibundong

Perhitungan impedansi pada PLTMH Aek Sibundong dengan total panjang penyulang 57,7 km dengan jenis penghantar AAAC 120 mm² dan Z₁=Z₂ sebesar 0,2688+j0,3376, dengan metode yang sama seperti cara diatas, diperoleh hasil yang ditunjukkan oleh tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Interkoneksi PLTMH Aek Sibundong

No	R Total	X Total	ΔV	ΔP_{aktif}	$\Delta P_{reaktif}$
1	26,16 Ω	9,7 Ω	268,07 V	11.620,18 kW	1.597,65 kVAR

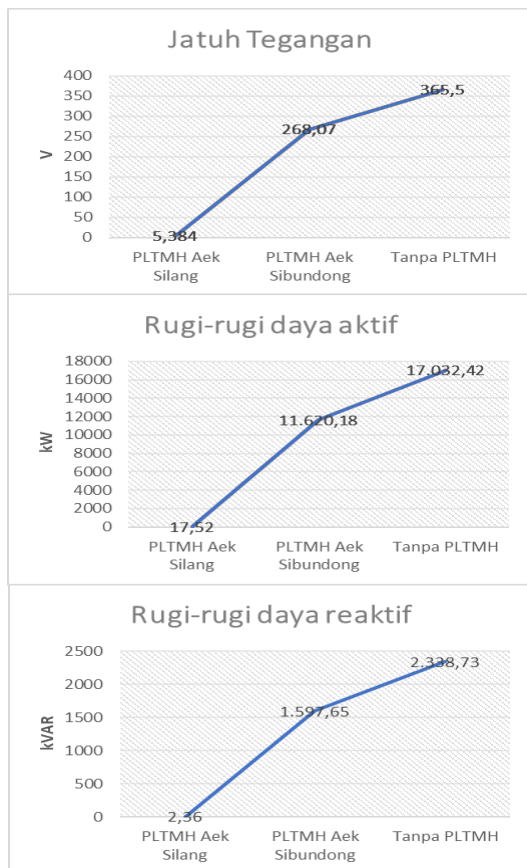
D. Penyulang Gelas Disuplai GI Tele Tanpa Interkoneksi PLTMH Aek Silang dan Aek Sibundong

Ketika penyulang Gelas hanya disuplai oleh GI Tele tanpa adanya interkoneksi dari kedua PLTMH tersebut didapatkan total panjang penyulang sebesar 60,74 km, dengan jenis

pengantar AAAC 120 mm² dan Z1=Z2 sebesar 0,2688+j0,3376. Sehingga diperoleh total arus pembebanan GI Tele = Ppenyulang + Poutput PLTMH Aek Silang + Poutput PLTMH Aek Sibundong sebesar 7,18 A. maka selanjutnya didapatkan besar arus saluran, kemudian hasil analisis yang ditunjukkan oleh tabel 5 dan perbandingan hasil analisis ditunjukkan pada gambar 9.

Tabel 5. Hasil Analisis Penyulang Gelas Tanpa Interkoneksi PLTMH

No	R Total	X Total	ΔV	ΔP_{aktif}	$\Delta P_{reaktif}$
1	28,12 Ω	10,42 Ω	365,5 V	17.032,42 kW	2.338,73 kVAR



Gambar 9. Perbandingan Hasil Analisis

Dimana hasil akhir analisis perhitungan dari jatuh tegangan, rugi-rugi daya aktif, dan rugi-rugi daya reaktif menunjukkan PLTMH Aek Silang lebih baik daripada PLTMH Aek Sibundong. Hal ini dikarenakan pada saat adanya interkoneksi penyulang Gelas oleh kedua DG tersebut, jarak saluran dari PLTMH Aek Sibundong yang cukup jauh sehingga menyebabkan kurang maksimal kualitas daya yang disalurkan, juga kondisi pembebanan pada PLTMH Aek Sibundong yang terus meningkat dibandingkan PLTMH Aek Silang.

E. Analisis Ekonomi Teknik Kerugian Biaya Saluran Distribusi Terhadap Kualitas Daya

Setelah kita mengetahui hasil kualitas daya, selanjutnya dilakukan analisis perhitungan rugi-rugi secara ekonomi teknik untuk mengetahui berapa besar rupiah yang hilang dalam satuan hari dengan membandingkan data pada WBP dan LWBP, mengacu pada TDL PT. PLN nilai rupiah/kWh dengan rata-rata tarif sebesar Rp 1.158,12/kWh[10]. Dimana pada tabel 6 dibawah ini ditunjukkan kondisi penyulang Gelas apabila tidak ada interkoneksi dari PLTMH Aek Silang dan Aek Sibundong menyebabkan kerugian rupiah yang paling besar. Sehingga terbukti pengaruh dampak dari interkoneksi DG selain memperbaiki kualitas daya juga mengurangi kerugian-kerugian dari ekonomi teknik yang ditimbulkan dari penyaluran daya energi listrik.

Tabel 6. Hasil Analisis Kerugian Rupiah

No	P Total		Nama Beban	Total Rugi-Rugi (kWh/hari)	Total Rugi-Rugi (Rp/kWh/hari)
	WBP	LWP			
1	0,38 kW	0,33 kW	PLTMH Aek Silang	17,148 kWh/hari	Rp 19.860
2	1,52 kW	2,11 kW	PLTMH Aek Sibundong	87,092 kWh/hari	Rp 100.863,46
3	1,89 kW	2,45 kW	Penyulang Gelas	104,24 kWh/hari	Rp 120.723,45

IV. SARAN DAN KESIMPULAN

Hasil akhir dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan DG pada penyulang Gelas sangat diperlukan untuk menyuplai beban pada GI Tele, nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi paling besar Ketika penyulang Gelas tidak ada interkoneksi menggunakan DG. Sedangkan, pada PLTMH Aek Sibundong terjadi penurunan kualitas daya dikarenakan lokasi pembebanan jaraknya cukup jauh, yaitu sebesar 57,7 km. Sehingga menyebabkan nilai kualitas daya dari PLTMH Aek Silang lebih baik. Dapat dikatakan DG memberi keandalan yang lebih tinggi dalam pemanfaatan daya dari pembangkit untuk menjaga kualitas pada sistem distribusi. Pada analisis ekonomi Teknik, interkoneksi DG sangat membantu menghemat rugi energi dalam bentuk rupiah, terbukti

pemanfaatan DG tersebut berpengaruh mengurangi jatuh tegangan, rugi-rugi, dan pengurangan biaya rugi energi. Dikarenakan kapasitas DG yang kecil, penulis menyarankan untuk dapat dilakukan penambahan kapasitas daya DG yang menyuplai PLTMH Aek Sibudong, sehingga lokasi pembebanan yang jauh tidak hanya terpusat oleh satu DG ataupun penyulang pada saluran.

Dimana dalam memanfaatkan seluruh jaringan distribusi agar efektif pada sisi aliran daya, PT. PLN selaku penyedia bisa melakukan konfigurasi ulang saluran distribusi dan mendesain kapasitas DG sesuai kebutuhan pada sisi pembebanan.

REFERENSI

- [1] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: A definition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001, doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.
- [2] A. Gubanski, P. Kostyla, B. Kredenc, Z. Leonowicz, J. Reznier, and T. Sikorski, "Synchronized profiles of power quality parameters in assessment of disturbances in power systems with distributed generation," *Proc. - Int. Conf. Mod. Electr. Power Syst. MEPS 2015*, pp. 0–4, 2015, doi: 10.1109/MEPS.2015.7477201.
- [3] Y. Lei, G. Han, and Y. Wang, "The impact of distributed generation parallel operation on smart grid," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 423, pp. 393–398, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-3229-5_42.
- [4] A. Bayat, A. Bagheri, and R. Noroozian, "Optimal siting and sizing of distributed generation accompanied by reconfiguration of distribution networks for maximum loss reduction by using a new UVDA-based heuristic method," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 77, pp. 360–371, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.11.039.
- [5] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461–472, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.06.011.
- [6] K. K. S. Sampeallo, Agusthinus S., Nursalim, "Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Untuk Peningkatan Kualitas Penyaluran Daya Sistem Kelistrikan Kampus UNDANA Penfui Kupang," *J. Media Elektro*, vol. VI, no. 2, pp. 49–57, 2017.
- [7] S. Yamujala, M. Fatima, I. A. S. Teja, and Y. Lahari, "Present scenario of distributed generation in India - Technologies, cost analysis & power quality issues," *Proc. Int. Conf. Innov. Appl. Comput. Intell. Power, Energy Control. with Their Impact Humanit. CIPECH 2014*, no. November, pp. 417–421, 2014, doi: 10.1109/CIPECH.2014.7019089.
- [8] A. V. Shalukho, I. A. Lipuzhin, and A. A. Voroshilov, "Power quality in microgrids with distributed generation," *Proc. - 2019 Int. Ural Conf. Electr. Power Eng. Ural. 2019*, pp. 54–58, 2019, doi: 10.1109/URALCON.2019.8877619.
- [9] A. Soedibyo; Sjamsjul, "Desain Kapasitas Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Radial Guna Mengurangi Rugi Daya," *JAVA J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 24–29, 2013.
- [10] R. C. D. Sarikin, "Analisis Susut Daya dan Energi Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panakkukang," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 16, no. 1, p. 43, 2019, doi: 10.31963/elekterika.v16i2.1575.
- [11] D. Wijaya, "Optimalisasi Penempatan dan Besaran Shunt Capacitor pada Fasilitas Interkoneksi Generator Distribusi (Studi Kasus di PT PLN (Persero) Rayon Dolok Sanggul)," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 12, no. 1, p. 30, 2016, doi: 10.17529/jre.v12i1.3094.